

El sistema de ventilación.

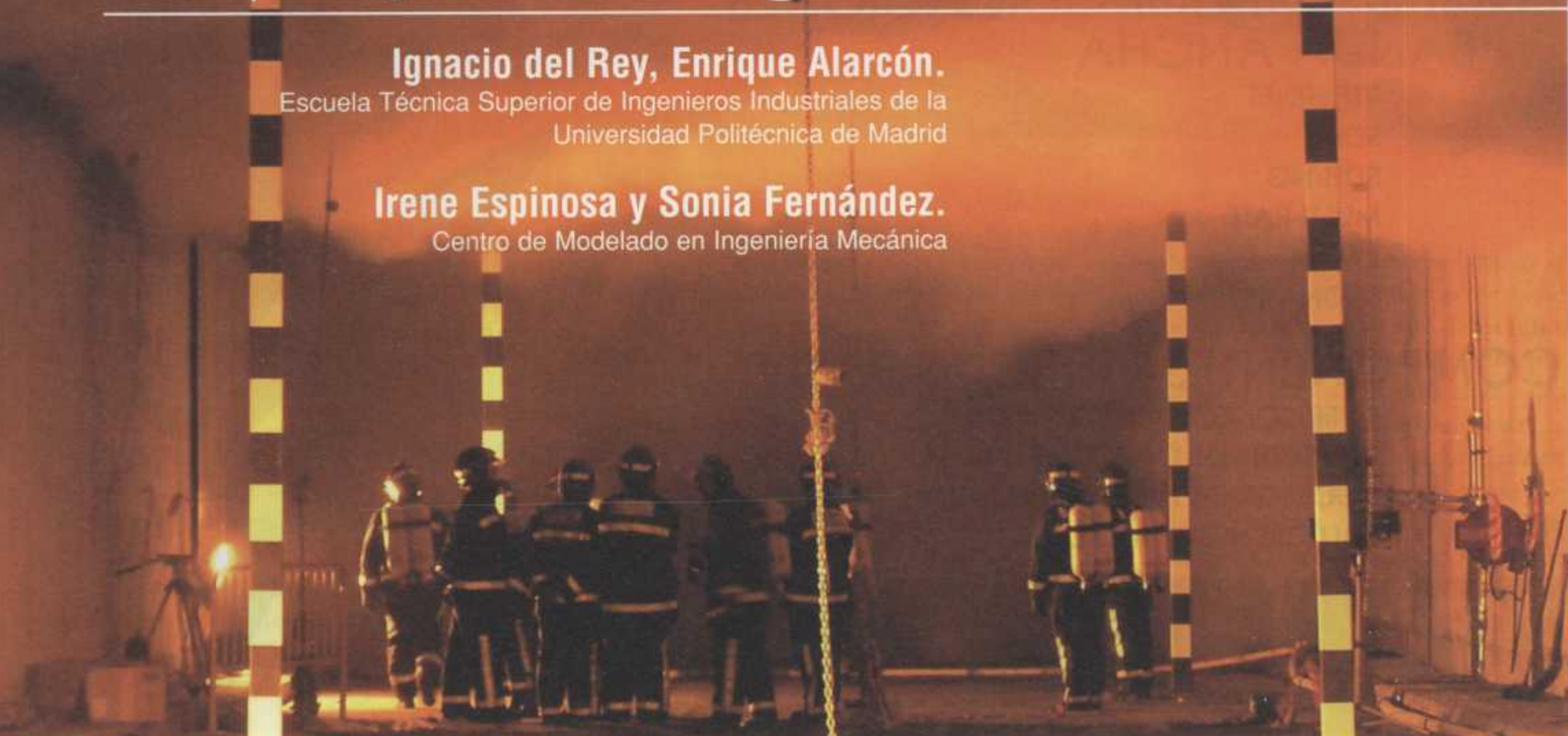
Un proyecto singular

Ignacio del Rey, Enrique Alarcón.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la
Universidad Politécnica de Madrid

Irene Espinosa y Sonia Fernández.

Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica



Durante los próximos años se van a realizar una serie de actuaciones en la vía de circunvalación M-30 de Madrid en las que se incluirán grandes obras subterráneas.

Las condiciones de explotación con unos niveles de tráfico muy importantes hacen necesario extremar los criterios de seguridad en la ventilación de estas infraestructuras tanto en situación de explotación en servicio como en caso de incendio.

Los autores de este artículo han participado en el asesoramiento técnico para la definición de principios generales de funcionamiento y criterios de dimensionamiento de las instalaciones con el objetivo de que los proyectos elaborados por las distintas ingenierías mantengan la deseada compatibilidad que debe significar una explotación más económica y segura.

Este artículo describe las ideas principales subyacentes a la solución conceptual estudiada, se exponen los criterios asociados al control de la ventilación haciendo hincapié en las singularidades del proyecto.

ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN

Los túneles previstos de la M-30 presentan una gran longitud con niveles de tráfico importantes, con un crecimiento previsto en los próximos años considerable. Para alcanzar los niveles de seguridad exi-

gidos se ha recomendado la adopción de distintas soluciones basadas en las alternativas tipo descritas a continuación, pero adaptadas por los proyectistas de cada tramo según las particularidades de cada caso individual.

Es importante distinguir entre la configuración (características geométricas y aerodinámicas) de un sistema de ventilación y las estrategias asociadas a dicho sistema. Esta diferencia conceptual, habitualmente ignorada, es clave a la hora de definir los criterios de actuación y funcionamiento de los sistemas de ventilación.

Así, por ejemplo, un sistema de ventilación de tipo transversal (con conductos de inyección y extracción) puede trabajar con una estrategia longitudinal si así se requiere (y si el sistema está correctamente dimensionado). Este hecho es especialmente importante para la gestión de incidentes con fuego en el túnel.

Si bien no es objeto de este artículo abordar en detalle los tipos de estrategias de ventilación, para facilitar la comprensión de las soluciones propuestas para Calle 30, a continuación se detallan los conceptos fundamentales.

Estrategia de ventilación longitudinal

Este modo de funcionamiento es el previsto habitualmente en túneles para los escenarios de incendio con tráfico fluido donde los vehículos situados aguas abajo del incendio (en el sentido del tráfico), pueden abandonarlo sin encontrar interrupción. Por el contrario, en el otro lado, los vehículos quedan retenidos en su avance.

Por ello, la mejor actuación posible consiste en la expulsión a gran velocidad del humo en el sentido de avance de los vehículos. Para poder garantizar este hecho es preciso conseguir unas condiciones de ventilación determinadas.

El humo, en un túnel sin pendiente en el que no existe una dirección predominante del aire, tiende a propagarse en ambas direcciones. Incluso, aunque existiendo una dirección del aire predominante hacia la que el humo tendiese a propagarse, debido a la flotabilidad, una parte del mismo tendería a producir un retorno aguas arriba del incendio también conocido como retroceso de la capa de humos.

Estrategia de extracción por conducto de ventilación

En el caso de túneles con tráfico bi-direccional o con tráfico uni-direccional pero con situaciones de atasco, los usuarios se ven retenidos a ambos lados del fuego por lo que no es posible evacuar los humos hacia una de las bocas.

En estas situaciones, las estrategias de ventilación pasan por el mantenimiento de las mejores condiciones posibles durante la fase de evacuación para lo que suelen disponer sistemas de extracción repartida que confine los humos a una zona suficientemente reducida, lo que se obtiene con sistemas basados en conductos como es el caso de los sistemas de tipo (semi-) transversal.

APLICACIÓN A LAS TIPOLOGÍAS ESPECÍFICAS PARA CALLE 30

En túneles de tipo unidireccional, el sistema de ventilación habitualmente escogido es el longitudinal mediante aceleradores de chorro para situación de servicio que se complementa con estaciones intermedias locales (pozos) para la extracción de humos en caso de incendio. La distancia entre estaciones y sus características (caudal y potencia instalada) vienen determinadas por los escenarios de incendio considerados o los niveles de emisiones previstos si apoyan durante la ventilación en servicio.



En el caso de los túneles de la M-30 existen diversos condicionantes que desaconsejan esta solución de una forma general, entre las que se puede citar las situaciones de tráfico denso habituales e incluso atasco de vehículos en las que una actuación de tipo longitudinal en caso de incendio solo podría llevarse a cabo en dos fases (inicialmente parada de los humos y, tras el escape de los usuarios, expulsión de humos) con la dificultad que ello conlleva.

La aplicación de los conceptos expuestos en el apartado anterior al caso específico de las configuraciones de los túneles de Calle 30 y la búsqueda de los mayores criterios de seguridad ha obligado a complementar las soluciones típicas de ventilación. En los apartados siguientes se describen los modos de funcionamiento previstos para cada una de las tipologías.

Túneles profundos. Sistemas basados en conductos

En los túneles no someros, ante la posibilidad de disponer de conductos de ventilación se ha recomendado la adopción de un sistema de ventilación de tipo transversal (Habitualmente se denomina a un sistema



Figura 1.- Detención vehículos tráfico unidireccional

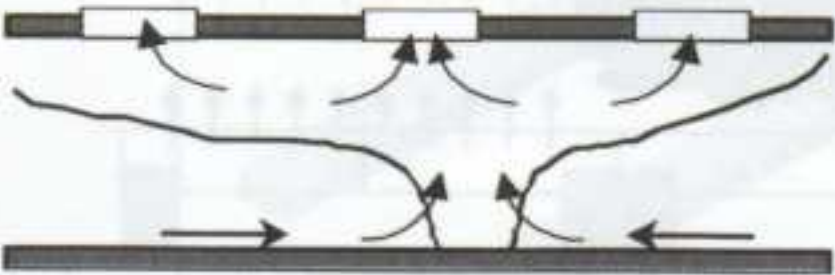


Figura 2.- Estrategia basada en la estratificación de los humos.

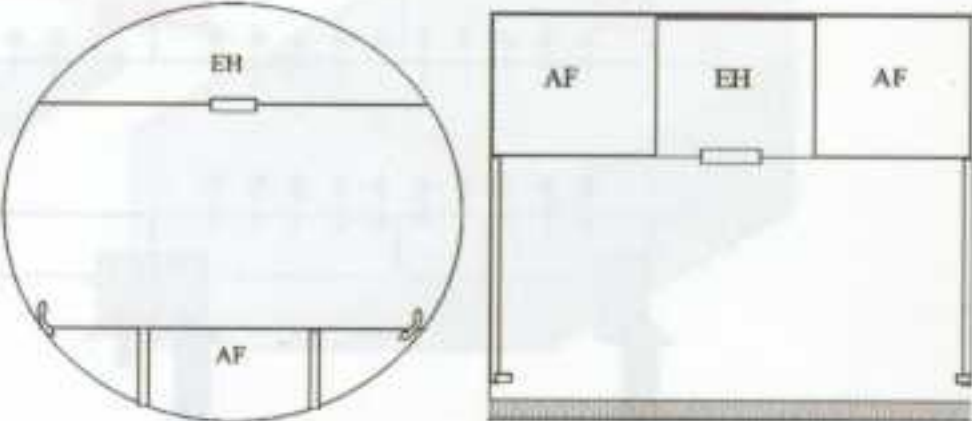


Figura 3.- Configuraciones de ventilación. Sistema transversal

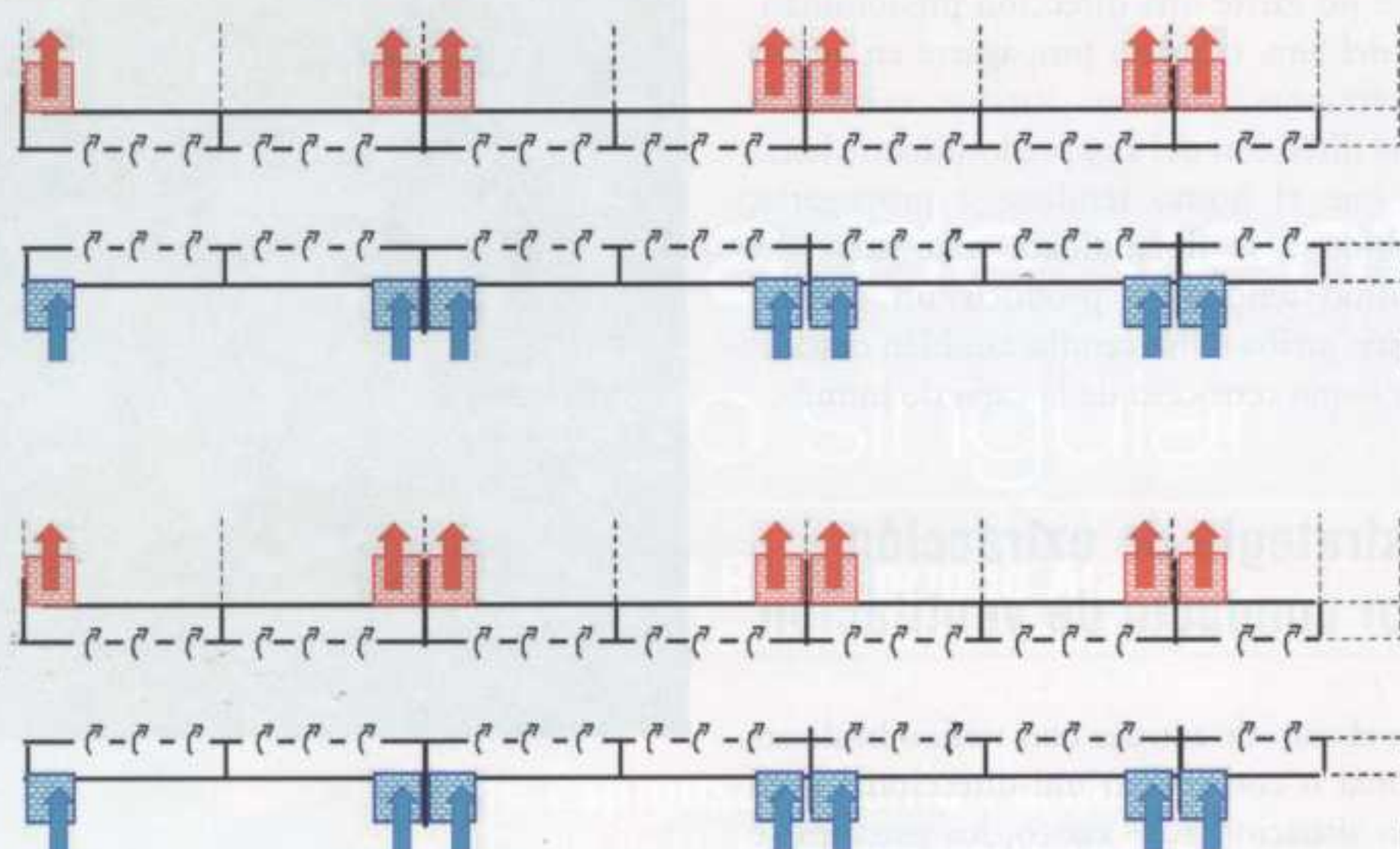


Figura 4. Sectorización. Sistema transversal.

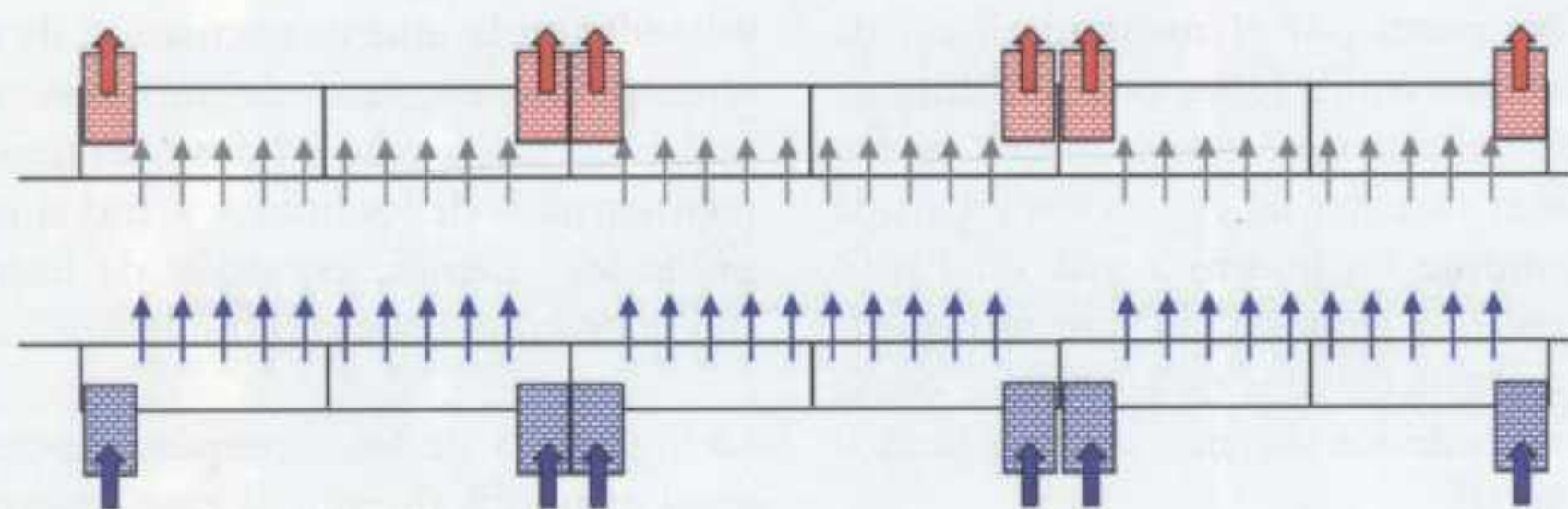


Figura 5. Principio de ventilación transversal en servicio.

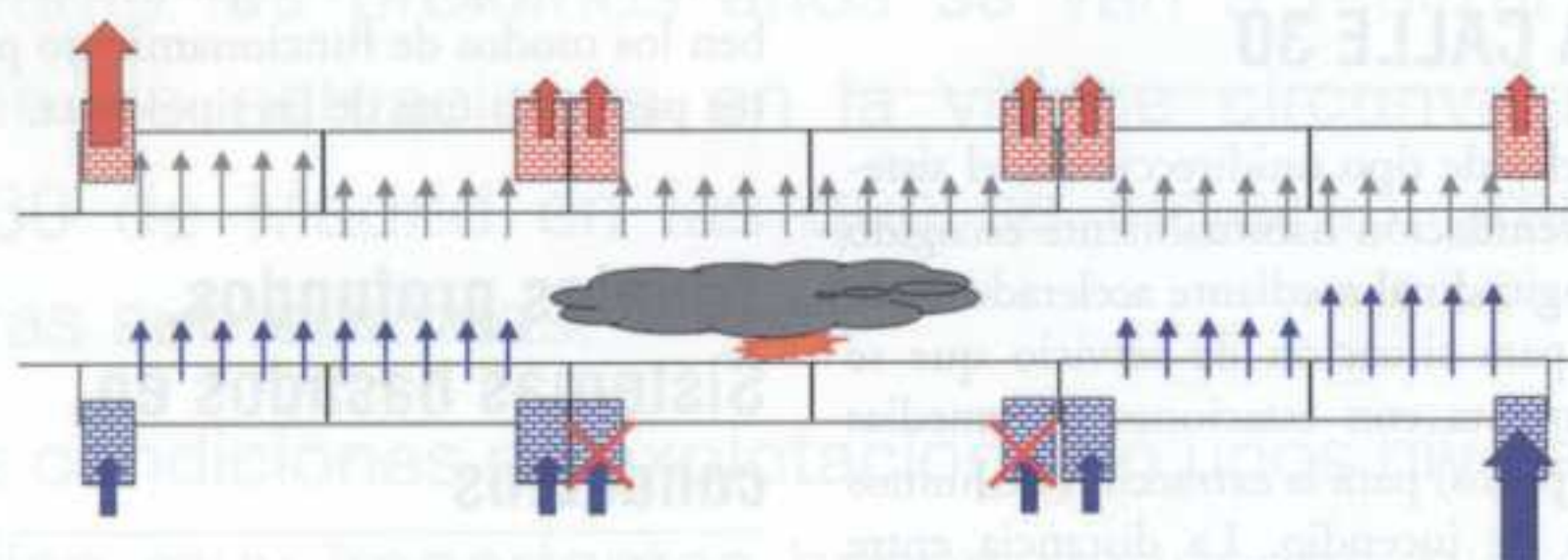


Figura 6. Principio de ventilación transversal en incendio y tráfico fluido.

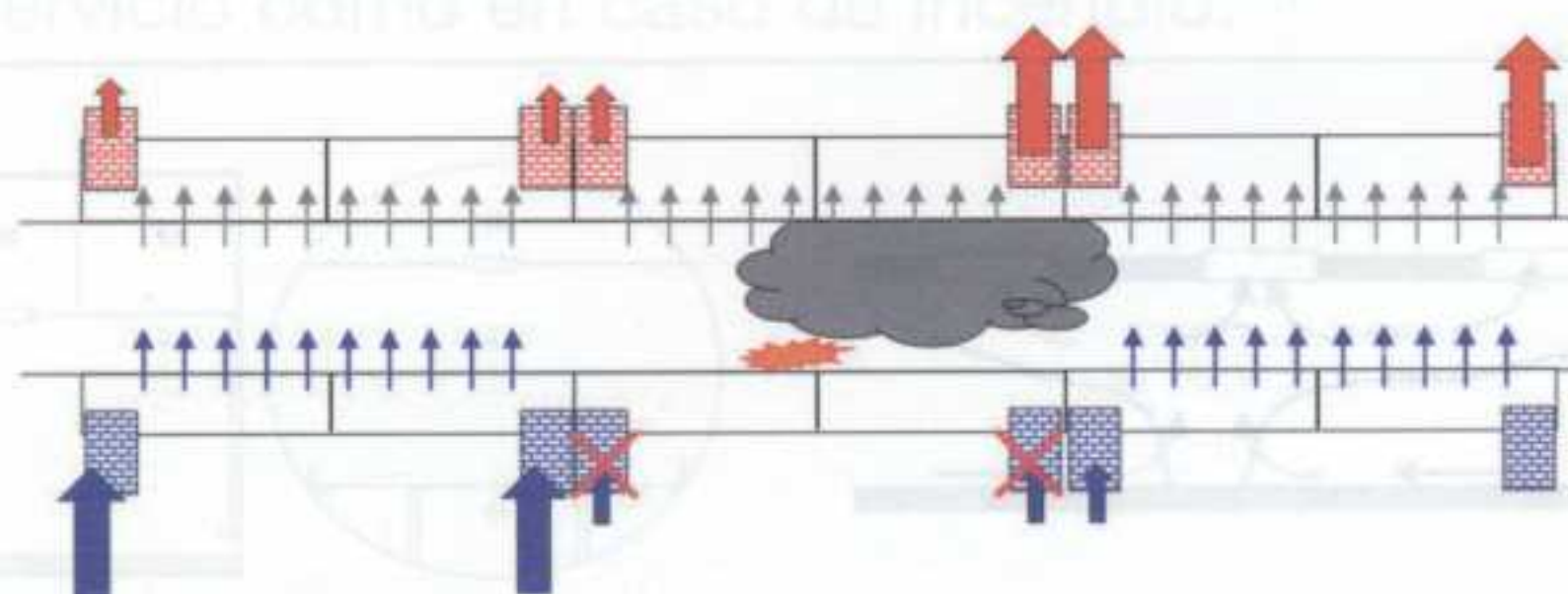


Figura 7. Principio de ventilación transversal en incendio y tráfico fluido.

de ventilación por el modo de funcionamiento en situación normal de servicio) con soluciones diversas en función de la geometría de la sección transversal.

Aunque en los casos de ejecución con tuneladora el conducto para la inyección de aire fresco se dispone bajo calzada (Figura 3, izquierda) y en ejecución con pantallas se sitúa en la zona superior (Figura 3, derecha) en ambos casos se disponen boquillas para la insuflación en la parte baja de la sección. El conducto de extracción de aire o humos se sitúa en la parte superior y se conecta con la sección de tráfico mediante exutorios no telecomandados colocados en el falso techo.

La longitud de los cantones de ventilación varía en función de la zona entre los 500 y 700 metros. Ello presenta numerosas ventajas frente a cantones de ventilación de mayor longitud, entre las que cabe citar:

- Sectorización y subdivisión mayor de los distintos tramos del túnel.
- Reducción de las potencias individuales de los equipos de ventilación.
- Mejora de la capacidad de control de la corriente longitudinal.
- Reducción de los problemas de estanqueidad en conductos.
- Menor peso específico de cada estación de ventilación en el conjunto de la obra (y por tanto de la afección en los modos degradados por avería o mantenimiento de ventiladores)

Adicionalmente, de esta forma se evita la disposición de trampillas accionables desde el centro de control, que repercute en:

- Mayor fiabilidad del sistema al evitar fallos de componentes.
- Reducción de los costes de mantenimiento.
- Simplificación de los algoritmos de control de la ventilación

VENTILACIÓN EN SERVICIO

La estrategia de ventilación está dirigida hacia la dilución de los gases contaminantes emitidos por los vehículos y su extracción uniforme a lo largo del conducto de extracción.

Para ello se emplean los distintos cantones de ventilación cuya regulación deberá ser controlada por los sensores (anemómetros, sistemas de detección de contaminantes, sensores de CO, NO y opacidad) convenientemente distribui-

dos en dicho cantón. No obstante se deberá prever algún tipo de acoplamiento entre los cantones adyacentes para mejorar la capacidad de respuesta del sistema.

VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO Y TRÁFICO DENSO

En caso de incendio y encontrarse la circulación en situación de tráfico denso la estrategia de ventilación prevista no puede ser de tipo longitudinal ya que se expulsarían los humos sobre los vehículos situados aguas abajo. En este caso el objetivo de la ventilación es lograr una velocidad reducida en las proximidades del foco.

Para ello se procederá a la desconexión de la inyección de aire fresco en el cantón afectado y la extracción uniforme por el conducto superior.

Las actuaciones sobre los cantones adyacentes tendrá como objetivo la generación de una corriente longitudinal suficientemente reducida en la zona de ubicación del foco.

VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO Y TRÁFICO FLUIDO

En caso de incendio y encontrarse la circulación en situación de tráfico fluido la estrategia de ventilación prevista es del tipo longitudinal. Para ello se procederá a la desconexión de la inyección de aire fresco en el cantón afectado y la extracción masiva con el pozo situado en el cantón posterior en el sentido del tráfico.

Para ello se emplearán grandes exutorios situados bajo el pozo lo que permite concentrar la capacidad de extracción. Las actuaciones sobre los cantones adyacentes tendrá como objetivo la generación de una corriente longitudinal suficiente en la zona de ubicación del foco.

Túneles someros. Sistemas basados en extracciones puntuales.

En el caso de los tramos someros (como por ejemplo el caso del tramo del Río) la solución propuesta ha sido de tipo longitudinal de tal forma que se han dispuesto estaciones de ventilación mixtas (inyección – extracción) situadas a distancias de unos 600 metros. Adicionalmente, se dispondrán aceleradores como apoyo en el control del flujo de aire.

VENTILACIÓN EN SITUACIÓN DE SERVICIO

En situación de servicio las estrategias de ventilación estarán basadas en la generación de una corriente longitudinal mediante las distintas inyecciones y extracciones. Los aceleradores se emplearán como apoyo en

el control del flujo de aire en los distintos cantones para evitar la recirculación del aire viciado.

VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO Y TRÁFICO FLUIDO

En caso de incendio y encontrarse la circulación en situación de tráfico fluido la estrategia de ventilación prevista es del tipo longitudinal. Para ello se procederá a la desconexión inmediata de los aceleradores del cantón afectado y, si se considera necesario por la cercanía del foco, de la inyección de aire fresco en el pozo de impulsión del cantón afectado.

Adicionalmente, se producirá la extracción masiva con el pozo situado en el cantón posterior en el sentido del tráfico. Esta extracción se complementará con el accionamiento, a priori, de las extracciones puntuales uniformes que, en cualquier caso, contribuirán a reducir los niveles de gases.

Las actuaciones sobre los cantones adyacentes tendrá como objetivo la generación de una corriente longitudinal suficiente en la zona de ubicación del foco.

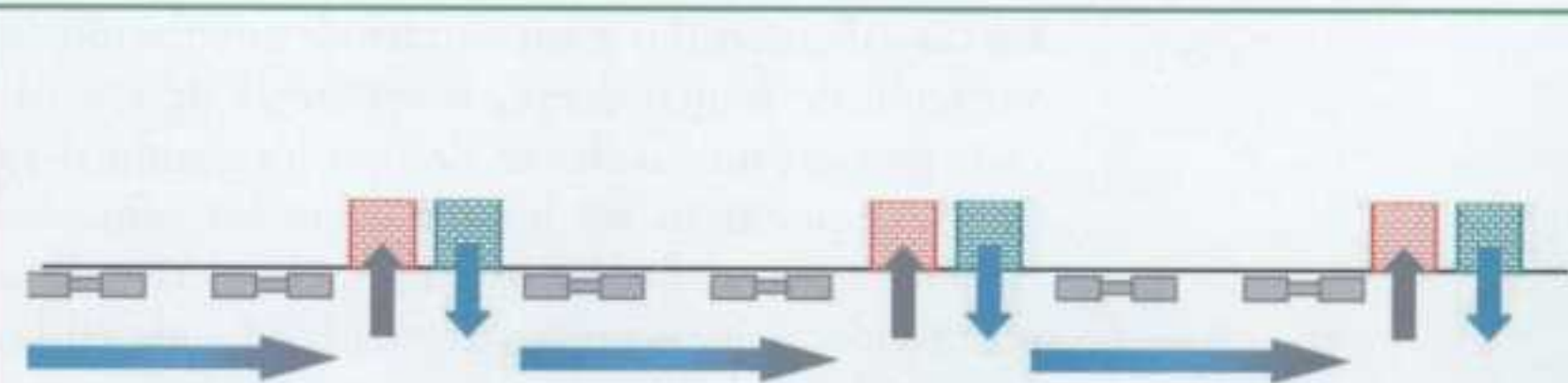


Figura 8. Principio de ventilación longitudinal en servicio.

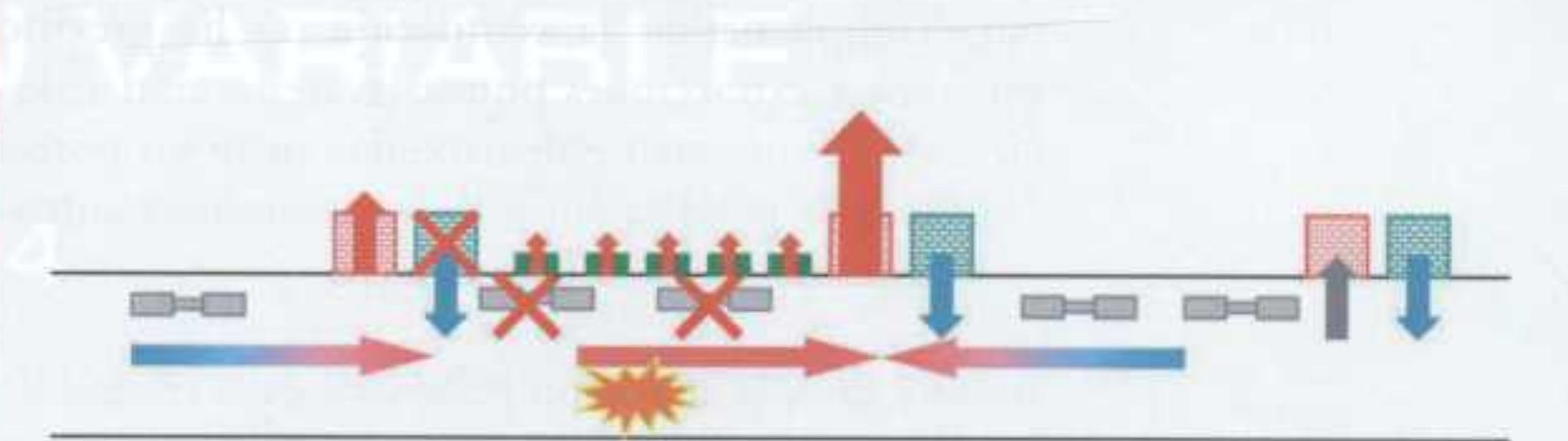


Figura 9. Ventilación longitudinal con extracciones en incendio y tráfico fluido.

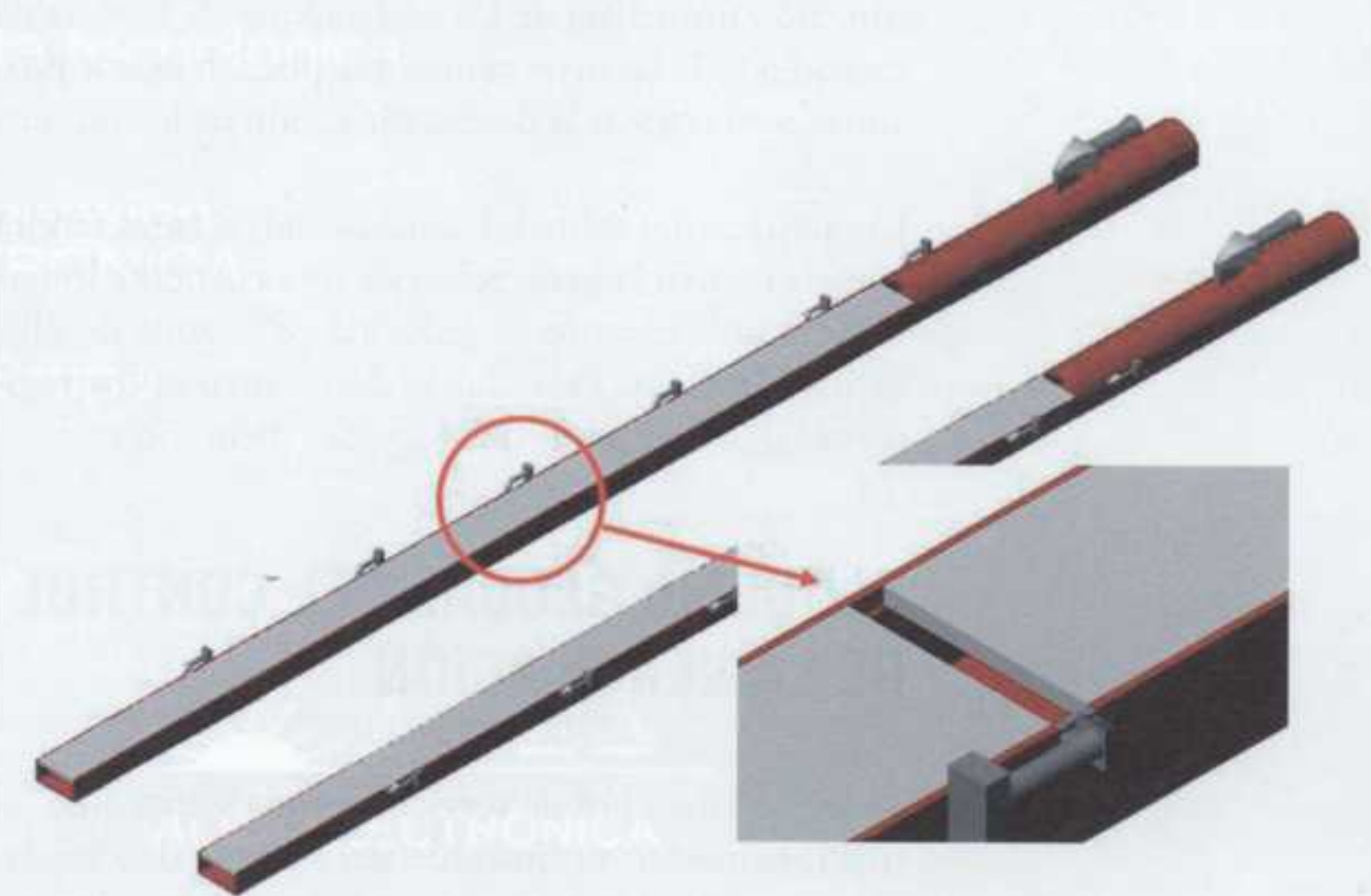


Figura 10. Configuraciones de ventilación. Sistema longitudinal

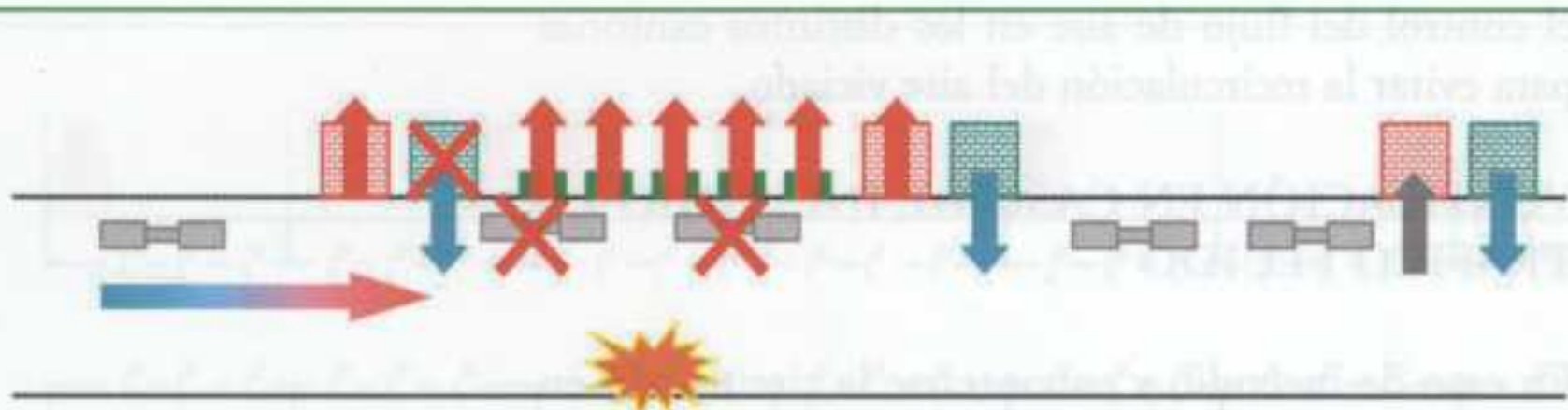


Figura 11. Ventilación longitudinal con extracciones en incendio y tráfico denso.

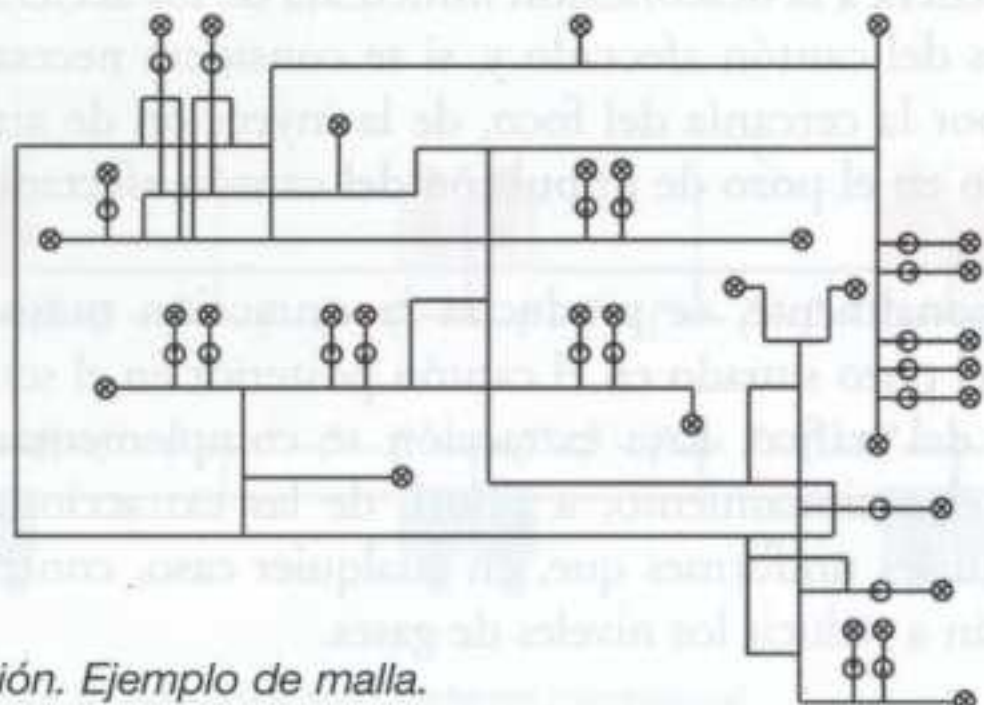
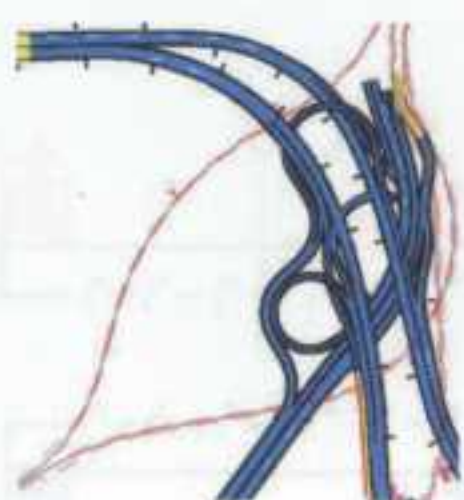


Figura 12. Modelización. Ejemplo de malla.

VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO Y TRÁFICO DENSO

En caso de incendio y encontrarse la circulación en situación de tráfico denso, la estrategia de ventilación prevista no puede ser de tipo longitudinal ya que se expulsarían los humos sobre los vehículos situados aguas abajo. En este caso, el objetivo de la ventilación es lograr una velocidad reducida en las proximidades del foco.

Al no poder disponer de conductos de extracción, para complementar la ventilación, se ha previsto incorporar extracciones puntuales de sección reducida y uniformemente distribuidas entre los pozos. La distancia prevista entre las extracciones puntuales es del orden de los 100 m.

En este caso, la actuación prioritaria es el encendido de los ventiladores de extracción uniformemente repartida si bien es especialmente importante la desconexión inmediata de los aceleradores de la zona de incendio y de las inyecciones que puedan existir próximas para retrasar la desestratificación de los humos.

Las actuaciones sobre los cantones adyacentes tendrá como objetivo la generación de una corriente longitudinal suficientemente reducida en la zona de ubicación del foco. Para ello se determinarán los regímenes de ventilación que lograrán dicho objetivo.

ESQUEMA GLOBAL DEL CONTROL DE LA VENTILACIÓN

Tanto en situación de servicio como de incendio, el funcionamiento optimizado del sistema de ventilación es esencial para mantener los requisitos de proyecto y limitar los gastos de explotación y mantenimiento. Para ello se emplea un sistema de control

robusto y fiable, que permita, a partir de las capacidades de la instalación, conseguir los objetivos del control de la ventilación en los distintos escenarios.

El objetivo del control de la ventilación en servicio es el correcto mantenimiento de los niveles de confort y seguridad para el usuario, minimizando los costes de explotación. El equilibrio entre estos objetivos es difícil de predecir de una forma teórica siendo por tanto, imprescindible que el sistema sea parametrizable y por tanto, configurable a partir de la experiencia recogida, tanto en la fase de puesta en marcha como durante el propio servicio de los túneles.

Mantener los niveles de confort y seguridad para el usuario, supone en la práctica conseguir unas condiciones de visibilidad y de concentración de CO y NO admisibles. Así, en el caso del funcionamiento en servicio los distintos escenarios que pueden presentarse no son tan críticos como en el caso de incendio, y las actuaciones sobre la ventilación se basan en el mantenimiento de los regímenes de ventilación óptimos en función de los niveles de concentración de CO, NO y opacidad registrados por los sensores instalados en el interior de los túneles.

Es importante señalar que la aplicación de criterios generales de control a un proyecto de esta envergadura supone un enorme desafío ya que su singularidad, al no tratarse de una obra lineal, se ve incrementada al intentar traducir el modelo físico a modelos numéricos que permitan analizar el comportamiento del sistema. A modo de ejemplo, en la Figura 12 se muestra una representación en planta de un tramo junto a la malla de cálculo empleada.■

CONCLUSIONES

La construcción de la Calle 30 presenta un interesantísimo ejemplo de obra en que pueden darse diferentes condiciones geométricas, topográficas, etc. en condiciones de tráfico también muy variadas.

Los autores de este artículo han participado como Asistencia Técnica en la definición de criterios generales que permitiesen la toma de decisiones de los proyectistas dentro de un marco uniforme de exigencias en relación con la seguridad de los usuarios.

Ello es del máximo interés para garantizar aquella pero también para simplificar y uniformizar los procesos de control de la ventilación durante las situaciones de servicio o accidente así como para que exista una compatibilidad entre los equipos que finalmente se instalen.

Tras estudios paramétricos sobre situaciones típicas se han fijado criterios cuantitativos de caudales, distancias y dimensiones que han servido de guía para que los proyectistas de cada tramo hayan adaptado la filosofía general a cada situación concreta.